International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)
Peer-Reviewed Journal
ISSN: 2349-6495(P) | 2456-1908(O)
Vol-11, Issue-5; May, 2024
Journal Home Page Available: https://ijaers.com/
Article DOI: https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.115.4

Climate analysis of the semi-arid region of Paraíba: Challenges and sustainable strategies

Análise climática do Semiárido paraibano: Desafios e estratégias sustentáveis

Amanda Cristiane Gonçalves Fernandes[1], Raimundo Aprígio de Menezes Júnior[2]

[1]Centro de Ciências Exatas e Natureza (CCEN)-UFPB, BRASIL
UFPB Campus I, Cidade Universitária, S/N – João Pessoa, Paraíba, Brasil CEP: 58.051-900
Email: amandafernandestt@gmail.com
[2] Departamento de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR), UFPB, BRASIL
UFPB Campus I, Cidade Universitária, S/N – João Pessoa, Paraíba, Brasil CEP: 58.051-900
Email: jrmenezes@cear.ufpb.br

Received: 15 Mar 2024,

Receive in revised form: 27 Apr 2024,

Accepted: 05 May 2024,

Available online: 15 May 2024

***Keywords*— Adaptation strategies, Cistern Program, Climatic trends.**

***Abstract*— *This study aimed to analyze climatic trends in the semi-arid region of Paraiba by understanding changes in climatic variables over time and proposing adaptation and mitigation strategies to address the challenges posed by climate change, aiming to promote sustainable and resilient development in the region. The study area corresponds to the municipalities of Remígio, Esperança, Arara, Solânea, Lagoa Seca, São Sebastião de Lagoa de Roça, and Queimadas. Climatic variables such as Average Daily Temperature (C°), Precipitation (mm/day) and Evapotranspiration (mm/day) were obtained from the Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) through the tool also obtained in the study by Giovanni (2023). Descriptive statistics of climatic variables were performed, the Kendall test was used to assess the presence of temporal trends, and simple regression analysis was conducted to explore relationships between climatic variables. The climatic analyses indicated a decreasing trend in precipitation and evapotranspiration over time. This highlights the vulnerability of the semi-arid region of Paraiba to adverse climatic conditions, with potential impacts on available water resources. It is essential to implement policies and practical measures to address water scarcity, rising temperatures, and extreme events, thereby ensuring a more resilient and sustainable future for the semi-arid region of Paraiba.*

I. INTRODUÇÃO

A desertificação emerge como uma preocupação ambiental proeminente, especialmente nas áreas áridas e semiáridas, destacando-se como um problema grave dentre as questões contemporâneas sobre o meio ambiente. No Nordeste do Brasil, essa problemática se manifesta na região semiárida devido à interação complexa entre o clima local e a ampla gama de vulnerabilidades dos recursos naturais, aliadas aos impactos das atividades humanas. Esses fatores combinados delineiam um cenário

de grande suscetibilidade à desertificação (Garcia et al., 2019).

Santana (2007) destaca os principais elementos ambientais associados à suscetibilidade à desertificação, incluindo as características do solo, os padrões de precipitação pluviométrica, a morfologia e a altitude do relevo, o bioma dominante, a cobertura vegetal e seu estado de conservação.

As variáveis climáticas, tais como a precipitação, a temperatura e a evapotranspiração, exercem um papel crucial na desertificação das áreas semiáridas. A escassez de chuva e o aumento da temperatura podem resultar na diminuição da vegetação e no agravamento da erosão do solo, o que culmina em degradação ambiental e desertificação. Além disso, as mudanças climáticas podem impactar negativamente a diversidade biológica e acelerar o processo de desertificação ao reduzir a evapotranspiração, levando consequentemente à diminuição das chuvas nessas áreas secas. Tais impactos podem comprometer a produção agrícola, os recursos hídricos, a necessidade de irrigação e a biodiversidade, alterando significativamente o ecossistema da Caatinga e acelerando o avanço do processo de desertificação (Tavares et al., 2019; Medeiros et al., 2019).

Apesar da significativa quantidade de estudos realizados no semiárido brasileiro, essas áreas são frequentemente afetadas por ações humanas e eventos naturais, resultando em um agravamento das secas severas na região. Portanto, é de extrema importância estudar e compreender a variabilidade climática e da vegetação para o planejamento adequado das atividades agrícolas, hídricas e socioeconômicas da região (Souza et al., 2022).

Assim, este estudo objetivou analisar as tendências climáticas na região do semiárido Paraibano, utilizando métodos científicos como análises climáticas e sensoriamento remoto. Pretendeu-se compreender as mudanças nas variáveis climáticas, como precipitação, evapotranspiração e temperatura, ao longo do tempo, e avaliar os impactos dessas mudanças no ambiente e na sociedade local. Além disso, buscou-se propor estratégias de adaptação e mitigação para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas, visando promover um desenvolvimento sustentável e resiliente na região.

II. MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde aos municípios de Remígio, Esperança, Arara, Solânea, Lagoa Seca, São Sebastião de Lagoa de Roça e Queimadas. Estes municípios estão inseridos na delimitação do semiárido paraibano (Fig. 1).
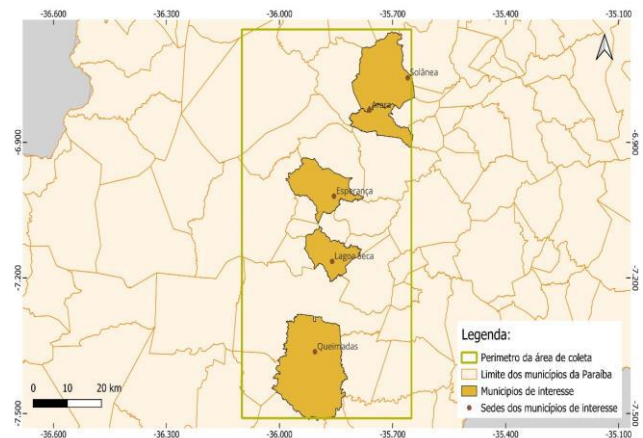
Fig. 1: Mapa de localização dos municípios paraibanos pertencentes a delimitação do semiárido.

2.2. Estudo da correlação das séries climáticas dos municípios estudados.

Para fins de coleta dos dados climáticos, foi definido um retângulo englobando todos os pontos de coletas que compreendem os municípios estudados, sendo as coordenadas -36.0652 W, -7.2985 S, -35.395 W, -6.3866 S (Figura 2). Foi definida uma série histórica de 1984 a 2014 a partir dos dados do Global Land Data Assimilation System – GLDAS com resolução de 0,25°.
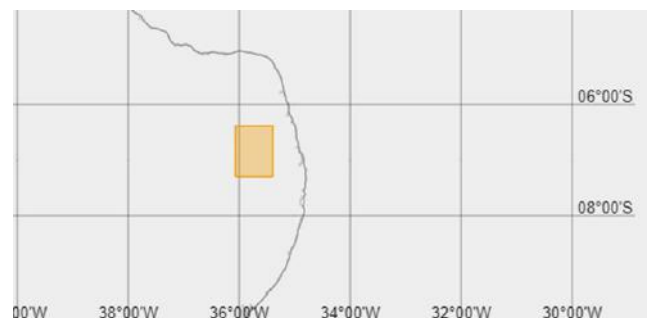
Fig. 2: Pontos de coleta no GLDAS referente a área de estudo.

Os dados do GLDAS resultaram de uma colaboração entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), o GSFC (*Goodard Space Flight Center*) e os NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) e NOAA (*National Aeronautics and Space Administration*). O objetivo principal do GLDAS foi criar um conjunto de dados de alta resolução em escala global, unindo observações provenientes de satélites e estações terrestres, por meio da aplicação de modelos de superfície terrestre (LSM) e técnicas de assimilação de dados (PARK & CHOI, 2014).

As variáveis climáticas como a Temperatura média diária (K°), Precipitação (Kg.m².s^{-1}) e Evapotranspiração (Kg.m².s^{-1}) foram obtidas na plataforma *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center* (GES DISC) através da ferramenta também obtida no estudo de Giovanni (2023). Os dados de Temperatura média diária foram convertidos de Kelvin (K°) para Celsius (C°) e Precipitação e Evapotranspiração de Kg.m².s^{-1} para mm/dia. De posse da série histórica e com auxílio do pacote Office Excel, foram plotados gráficos para cada variável que se encontram nas figuras 3, 4 e 5.
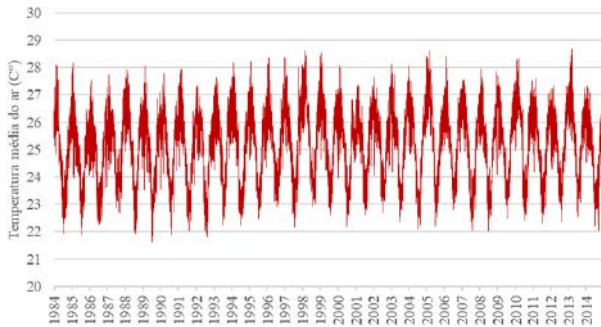
Fig. 3: Série histórica diária da Temperatura média do ar (C°) para a região de coleta de 1984 a 2014.
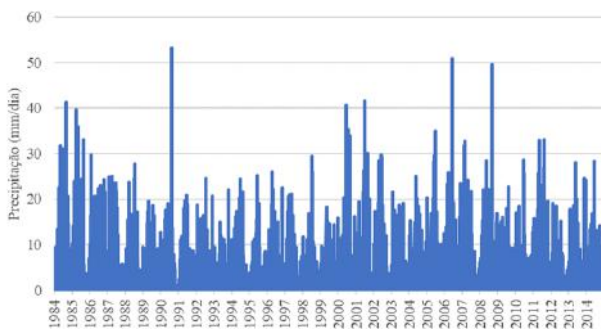
Fig. 4: Série histórica diária da Precipitação (mm/dia) para a região de coleta de 1984 a 2014.
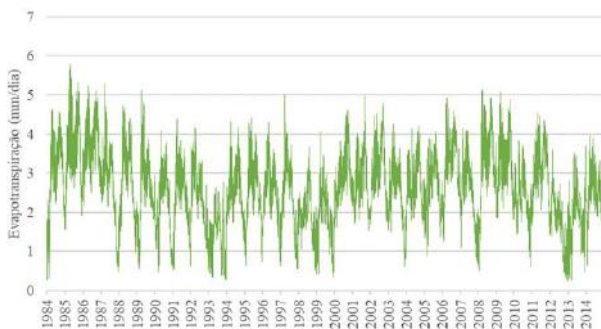
Fig. 5: Série histórica diária da Evapotranspiração (mm/dia) para a região de coleta de 1984 a 2014.

Todas as análises realizadas foram feitas através do software Rstudio, seguindo os pacotes de dados específicos para cada análise: Na tabela 1 são apresentadas as análises estatísticas e os pacotes utilizados no software Rstudio.

Tabela 1: Análises estatísticas e os pacotes utilizados no software Rstudio.

ANÁLISE	PACOTES UTILIZADOS
Estatística Descritiva	\`summarytools\`, \`psych\`
Teste de Kendall	\`Kendall\`, \`coin\`
Regressão Linear Múltipla	\`car\`, \`lmtest\`, \`ggplot2\`
Visualização de Dados Temporais	\`ggplot2\`, \`tsibble\`, \`plotly\`
Manipulação de Dados e Estatísticas	\`dplyr\`, \`tidyr\`, \`broom\`, \`ggplot2\`
Tratamento de Datas	\`lubridate\`

Fonte: Dados da pesquisa, (2023).

2.3. Descrição dos Dados

Para iniciar a análise, realizou-se uma estatística descritiva das variáveis climáticas estudadas, incluindo Precipitação, Evapotranspiração. Os dados foram resumidos através de medidas como mínimo, primeiro quartil, mediana, média, terceiro quartil e máximo com o auxílio do pacote "*psych*" (Revelle, 2023).

2.4. Teste de Kendall

Utilizou-se o Teste de Kendall para avaliar a presença de tendências temporais nas variáveis climáticas. Esse teste é robusto e adequado para identificar mudanças ao longo do tempo. Foi aplicado o teste não-paramétrico de Mann-Kendall por ser uma análise robusta e sequencial com o intuito de se analisar a presença de tendências temporais estatisticamente significativas. Para esse teste foi utilizado o pacote trend (Pohlert, 2023). Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software RStudio.

O teste de Mann-Kendall é baseado na estatística de Mann-Kendall (S), que é calculada da seguinte maneira:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \mathrm{sign}(x_j - x_i)$$

Onde:

n é o número de observações na série temporal.

x_i é o valor da observação na posição *i* na série temporal.

x_j é o valor da observação na posição

sign $(x_j - x_i)$ é a função de sinal, que retorna +1 se $x_j - x_j > 0$, -1 se $x_j - x_i < 0$ e 0 se $x_j - x_i = 0$.

Uma vez calculada a estatística de Mann-Kendall (S), pode-se então determinar a significância estatística da tendência utilizando a distribuição normal padrão. Isso é feito calculando o valor z:

$$Z = \frac{S-1}{\sqrt{V}}$$

V: é a variância da estatística de Mann-Kendall, dada por:

$$V = \frac{n\,(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{k} tp\,(tp-1)(2tp+5)}{18}$$

t_p é o número de empates de tamanho p na série temporal.

k é o número de valores distintos na série temporal.

Finalmente, o valor z é utilizado para calcular o valor p, que indica a significância estatística da tendência observada. Este valor p é então comparado com um nível de significância escolhido para determinar se a tendência é estatisticamente significativa.

2.5. Análise de Regressão

Realizou-se uma análise de regressão simples para explorar as relações entre as variáveis climáticas. Modelos foram ajustados para investigar a associação entre Precipitação, Evapotranspiração e Temperatura.

O modelo de regressão, que expressa a relação entre as variáveis em termos matemáticos. O modelo mais comum é a regressão linear, que assume que a relação entre as variáveis é linear. O modelo de regressão linear simples é representado pela equação:

$$Y=\beta_0+\beta_{1X}+\varepsilon$$

Onde:

Y é a variável dependente (ou resposta).

X é a variável independente (ou explanatória).

β 0 é o intercepto da linha de regressão.

β1 é o coeficiente de regressão (ou inclinação), que representa a mudança esperada em Y para uma unidade de mudança em X.

ε é o termo de erro, que representa a variação não explicada pelo modelo.

2.6. Enhanced Vegetation Index – EVI

As séries temporais de imagens provenientes do satélite TERRA foram adquiridas do Banco de Produtos EVI/MODIS na base Estadual Brasileira (Embrapa Informática Agropecuária, 2024). Este banco armazena e disponibiliza na Internet imagens do produto MOD13Q1, organizadas por estados, na projeção geográfica, datum WGS-84 e no formato GeoTIFF. O produto MOD13Q1 é composto por pixels de alta qualidade radiométrica, geometria de observação otimizada, presença mínima de nuvens e aerossóis, sendo selecionados a partir de imagens diárias ao longo de 16 dias. A coleção atual é a versão 6, que incorpora mudanças significativas para aprimorar a qualidade dos dados.

Para a composição das imagens, foram escolhidos três anos específicos: o primeiro ano de observação, um ano intermediário e o ano de conclusão das observações da área de estudo, que são os anos de 2004, 2012 e 2020, respectivamente. A fim de proporcionar uma representação mais precisa da cobertura vegetal, foi selecionada uma sequência de três imagens durante o período de estiagem da região, concentrado em janeiro, e outra sequência de três imagens durante o período das chuvas, em junho de cada ano.

III. RESULTADOS

Na realização deste estudo, empregou-se uma série temporal idêntica para a computação anual das quantidades de precipitação e evapotranspiração, bem como para o cálculo das médias anuais da temperatura do ar. Na tabela 2 procedeu-se à agregação dos dados acumulados mensalmente, resultando na definição das séries temporais mensais correspondentes.

3.1. Análise Descritiva

Tabela 2: Estatística descritiva das variáveis precipitação (Pr), evapotranspiração (Ev) e temperatura (Te).

	Pr	**Ev**	**Te**
Min:	0.0000	0.240	21.62
1st Qu:	0.0000	1.980	24.13
Median:	0.5827	2.640	25.36
Mean:	2.8291	2.605	25.17
3rd Qu:	3.8422	3.240	26.13
Max:	53.1403	5.790	28.68

Precipitação: Min-Max: A precipitação varia de 0 mm a 53.14 mm, indicando uma considerável variabilidade nas chuvas; mediana (Median): A mediana de 0.58 mm sugere uma distribuição desigual de chuvas, com uma parte significativa dos dados concentrada em valores mais baixos; média (Mean): A média de 2.83 mm aponta para uma tendência de chuvas moderadas, mas a variabilidade pode resultar em períodos prolongados de escassez; 3º Quartil: 75% dos dados de precipitação estão abaixo de 3.84 mm, indicando uma prevalência de eventos de chuva de intensidade moderada.

Evapotranspiração: Min-Max. A evapotranspiração varia de 0.24 a 5.79, destacando a capacidade da região de perder água para a atmosfera, principalmente em condições de temperaturas mais altas; mediana (Median): A mediana de 2.64 sugere que a metade dos dados está concentrada em valores moderados de evapotranspiração; média (Mean): A média de 2.61 indica uma taxa consistente de evapotranspiração na região; 3º Quartil: 75% dos dados de evapotranspiração estão abaixo de 3.24, sugerindo que a maior parte da região experimenta níveis moderados de perda de água para a atmosfera.

Temperatura: Min-Max. As temperaturas variam de 21.62°C a 28.68°C, indicando um clima predominantemente quente; mediana (Median) A mediana de 25.36°C representa a temperatura central, sugerindo que a maioria dos anos possui temperaturas moderadas a elevadas; média (Mean): A média de 25.17°C confirma a natureza quente da região; 3º Quartil: 75% dos dados de temperatura estão abaixo de 26.13°C, mostrando que a maioria dos anos está dentro de uma faixa moderada a quente.

A baixa mediana de precipitação sugere desafios relacionados à disponibilidade de água, fortalecendo a necessidade de políticas como o Programa de Cisterna. A variabilidade nas temperaturas destaca a necessidade de estratégias de adaptação para lidar com condições climáticas extremas.

As análises de tendência de Kendall que serão descritas posteriormente reforçam os padrões observados nos dados descritivos, fornecendo uma base estatística para as conclusões acima. Com base nos resultados, há uma necessidade evidente de políticas de gestão da água na região, como o Programa de Cisterna, para enfrentar os desafios de escassez de água devido à baixa precipitação e alta evaporação.

Na figura 6 é apresentado o blox-pot em relação a variabilidade das variáveis estudadas.
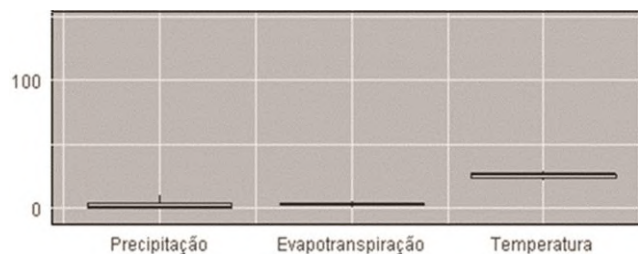
Fig. 6: Box-plot das variabilidades em relação as variáveis estudadas.

O boxplot destaca visualmente que a temperatura varia mais com o passar dos anos, no caso o boxplot é uma parte gráfica dos dados descritivos. Quanto mais alta a caixa, maior a variabilidade dos dados.

3.2. Interpretação dos Testes de Kendall para Tendências Climáticas

Na tabela 3 é apresentada os resultados do Teste de análise de séries temporais.

Tabela 3: Resultados da aplicação do Teste Kendall nas séries temporais estudadas.

Variáveis	Statistic	P-value	Method
Precipitação	-4,92936702	8,24965E-07	Mann kendall
Evapotranspiração	-9,43647383	3,85536E-21	Mann kendall
Temperatura	8,33272743	7,90009E-17	Mann kendall

Fonte: Autora, 2023.

Precipitação: A estatística de Kendall negativa sugere uma tendência significativa de diminuição na precipitação ao longo do tempo. O valor de p (8.25E-07) indica uma forte evidência estatística para esta redução. Esse resultado corrobora a importância de políticas como o Programa de Cisterna para mitigar os impactos da escassez de água.

Evapotranspiração: A estatística de Kendall fortemente negativa indica uma tendência significativa de diminuição na evapotranspiração ao longo do tempo. O valor de p (3.86E-21) também sugere uma forte evidência estatística dessa tendência. Isso pode indicar uma redução na perda de água para a atmosfera, o que pode impactar os recursos hídricos na região.

Temperatura: A estatística de Kendall positiva sugere uma tendência significativa de aumento nas temperaturas ao longo do tempo. O valor de p (7.90E-17) indica uma forte evidência estatística dessa tendência. Esse resultado destaca a importância de estratégias de adaptação às condições climáticas cada vez mais quentes.

O valor de p de cada teste estatístico se baseia em um valor fixo de 0,05. Se o valor de p de determinado teste estiver menor que 0,05, quer dizer que os seus dados deram diferença significativa ou que teve uma tendência significativa. Se tiver maior que 0,05 é ao contrário, não houve nenhuma diferença estatística significativa.

Os resultados dos testes de Kendall fortalecem as conclusões derivadas da análise descritiva, fornecendo uma base estatística para as tendências climáticas observadas. A significativa diminuição na precipitação e evapotranspiração sugere mudanças nas condições hidrológicas que podem impactar a disponibilidade de

água. A tendência de aumento na temperatura destaca os desafios relacionados ao calor crescente na região, reforçando a necessidade de estratégias de adaptação e tecnologias sustentáveis.

3.3. Análise de eventos climáticos extremos

Para a análise de eventos climáticos extremos foi adotada a Análise de Distribuição Extrema (GEV) para Dados Climáticos do Semiárido. Realizamos uma análise de distribuição extrema (GEV) sobre as variáveis climáticas (Precipitação, Evapotranspiração e Temperatura) referentes ao semiárido paraibano. O objetivo dessa análise é compreender o comportamento dessas variáveis ao longo do tempo, fornecendo insights relevantes para a implementação de tecnologias sustentáveis na região em estudo.

Precipitação: A análise revelou que a distribuição GEV para a precipitação apresenta os seguintes parâmetros estimados: localização: 3.43e-12; escala: 1.17e-11 e forma: 3.39. Esses resultados indicam uma tendência para eventos extremos na precipitação, sugerindo uma variabilidade significativa ao longo do tempo. Na figura 7 é apresentado o gráfico que analisa o comportamento dos dados ao longo do tempo da variável Precipitação.
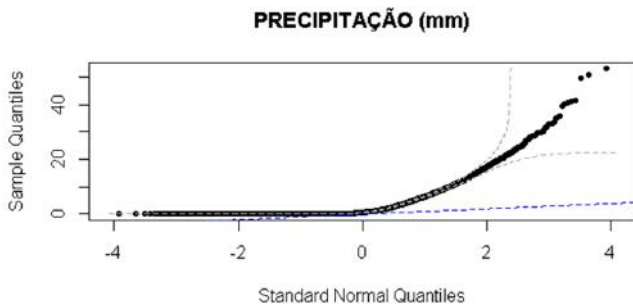
Fig. 7: Comportamento dos dados da variável precipitação ao longo do tempo.

Evapotranspiração: Os parâmetros estimados para a evapotranspiração são: localização: 2.27; escala: 0.92 e forma: -0.26. Esses resultados indicam uma distribuição GEV com características que podem afetar a gestão hídrica na região, fornecendo informações relevantes para a implementação de práticas sustentáveis. Na figura 8 é apresentado o gráfico que analisa o comportamento dos dados ao longo do tempo da variável Evapotranspiração.
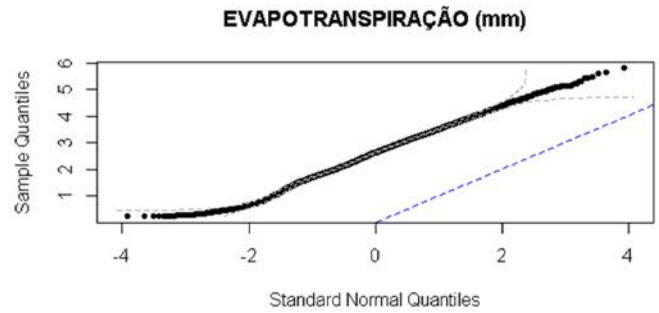
Fig. 8: Comportamento dos dados da variável evapotranspiração ao longo do tempo.

Temperatura: A análise da temperatura revela os seguintes parâmetros estimados: localização: 21.72; escala: 15.11; forma: 155.22. Esses resultados indicam uma forma acentuada na distribuição, destacando a variabilidade nas temperaturas ao longo do tempo. A linha de tendência da temperatura também está mais próxima da central, indicando que pode ser um modelo apropriado. Na figura 9 é apresentado o gráfico que analisa o comportamento dos dados ao longo do tempo da variável Temperatura.
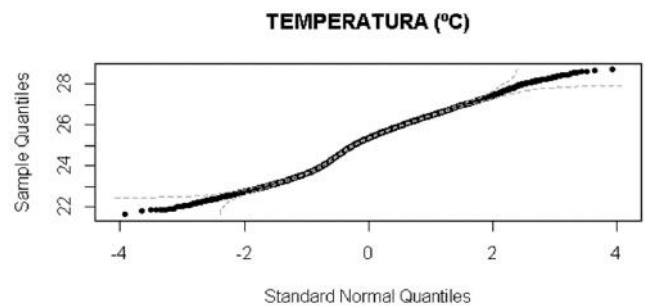
Fig. 9: Comportamento dos dados da variável temperatura ao longo do tempo.

Os resultados da análise GEV oferecem insights valiosos sobre a variabilidade climática no semiárido paraibano. A presença de eventos extremos e padrões de distribuição distintos em cada variável climática enfatiza a complexidade do ambiente. Essas informações são cruciais para a implementação de tecnologias sustentáveis que dependem das condições climáticas locais.

A interpretação desses resultados sugere que a região apresenta desafios consideráveis em termos de variabilidade climática, destacando a importância de abordagens adaptativas e tecnologias robustas para lidar com as condições extremas.

Em relação as hipóteses deste estudo, tem-se:

Análise Variabilidade Climática na região do semiárido: A análise da evapotranspiração e precipitação revela padrões notáveis na região. A evapotranspiração, embora apresente uma variação significativa, demonstra

uma tendência persistente, sugerindo uma alta taxa de evaporação. Juntamente com a precipitação relativamente baixa, esses resultados indicam desafios consideráveis em relação ao fornecimento de água na região. Essa constatação fortalece a necessidade de políticas como o Programa de Cisterna, que podem oferecer uma solução para a escassez hídrica, capturando e armazenando água da chuva para uso posterior.

3.4. Regressão Linear Simples entre as variáveis

Tabela 4: Resultados de correlação da Regressão Linear Simples entre as variáveis estudadas.

Correlação de variáveis	**Coeficiente**	**P-Valor**
Precipitação/Evapotranspiração	Evapotranspiração 0.83339	2.2e-16
Precipitação/Temperatura	Temperatura -0.85867	2.2e-16
Evapotranspiração/Precipitação	Precipitação 0.030687	2.2e-16
Evapotranspiração/Temperatura	Temperatura -0.257050	2.2e-16
Temperatura/ Evapotranspiração	Evapotranspiração -0.50590	2.2e-16

Fonte: Autora, 2023.

Abaixo segue as discussões das correlações entre as variáveis estudadas.

-PRECIPITAÇÃO ~ EVAPOTRANSPIRAÇÃO: A variável independente EVAPOTRANSPIRAÇÃO tem um efeito significativo sobre a variável dependente PRECIPITAÇÃO (p-valor muito pequeno). O coeficiente de EVAPOTRANSPIRAÇÃO é positivo (0.83339), indicando que um aumento em EVAPOTRANSPIRAÇÃO está associado a um aumento em PRECIPITAÇÃO.

-PRECIPITAÇÃO ~ TEMPERATURA: A variável independente TEMPERATURA tem um efeito significativo sobre a variável dependente PRECIPITAÇÃO (p-valor muito pequeno). O coeficiente de TEMPERATURA é negativo (-0.85867), indicando que um aumento em TEMPERATURA está associado a uma diminuição em PRECIPITAÇÃO.
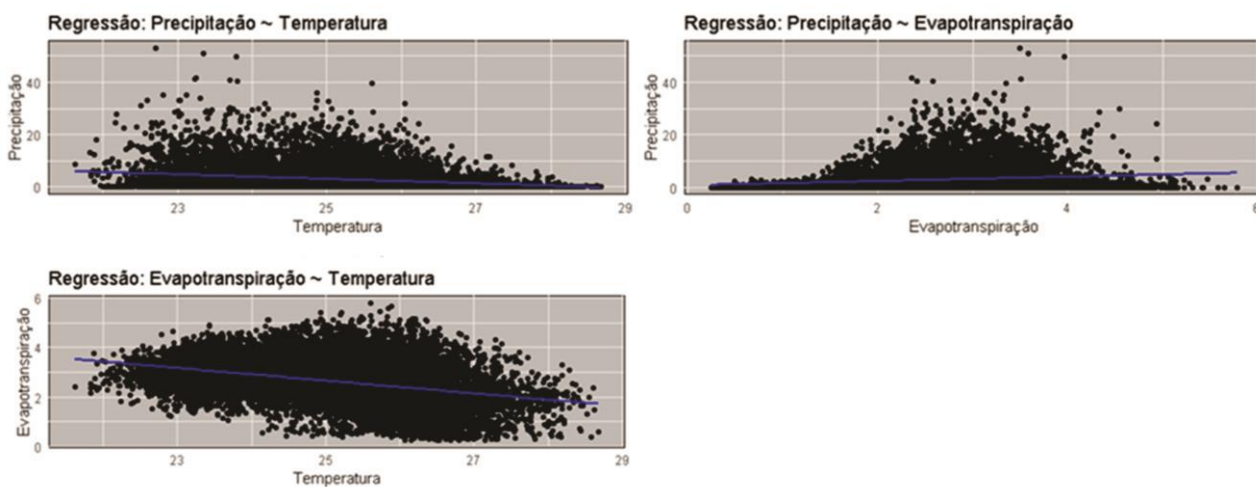
Fig. 10: Analise da reta de ajuste das variáveis estudadas

-EVAPOTRANSPIRAÇÃO ~ PRECIPITAÇÃO: A variável independente PRECIPITAÇÃO tem um efeito significativo sobre a variável dependente EVAPOTRANSPIRAÇÃO (p-valor muito pequeno). O coeficiente de PRECIPITAÇÃO é positivo (0.030687), indicando que um aumento em PRECIPITAÇÃO está associado a um aumento em EVAPOTRANSPIRAÇÃO.

-EVAPOTRANSPIRAÇÃO ~ TEMPERATURA: A variável independente TEMPERATURA tem um efeito significativo sobre a variável dependente EVAPOTRANSPIRAÇÃO (p-valor muito pequeno). O coeficiente de TEMPERATURA é negativo (-0.257050), indicando que um aumento em TEMPERATURA está associado a uma diminuição em EVAPOTRANSPIRAÇÃO.

-TEMPERATURA ~ PRECIPITAÇÃO: A variável independente PRECIPITAÇÃO tem um efeito significativo sobre a variável dependente TEMPERATURA (p-valor muito pequeno). O coeficiente de PRECIPITACAO é negativo (-0.062225), indicando que um aumento em PRECIPITAÇÃO está associado a uma diminuição em TEMPERATURA.

-TEMPERATURA ~ EVAPOTRANSPIRAÇÃO: A variável independente EVAPOTRANSPIRAÇÃO tem um efeito significativo sobre a variável dependente TEMPERATURA (p-valor muito pequeno). O coeficiente de EVAPOTRANSPIRAÇÃO é negativo (-0.50590), indicando que um aumento em EVAPOTRANSPIRAÇÃO está associado a uma diminuição em TEMPERATURA.

Com base nas análises de regressão realizadas entre as variáveis climáticas na região do semiárido Paraibano, podemos inferir informações relevantes para a teoria propostas:

Programa de Cisterna: A análise de regressão entre Precipitação e Evapotranspiração revelou uma relação significativa entre essas variáveis. O coeficiente positivo para Evapotranspiração indica que à medida que a evapotranspiração aumenta, a precipitação também tende a aumentar. Isso sugere que a região experimenta altas taxas de evaporação, o que pode ser uma indicação da necessidade de estratégias de conservação de água. Além disso, a regressão entre Precipitação e Temperatura mostrou uma relação negativa significativa. O aumento da temperatura está associado a uma diminuição na precipitação. Isso ressalta os desafios enfrentados pela região devido às altas temperaturas e baixa precipitação, reforçando a importância de iniciativas também de conservação de água.

Portanto, com base nas análises de regressão, há suporte estatístico para a teoria propostas. A implementação de um Programa de Cisterna pode ser justificada pela relação entre evapotranspiração e precipitação.

3.5. Análise do índice de vegetação melhorado – EVI

Os índices de vegetação (IVs) possuem um amplo potencial para avaliar de maneira rápida e abrangente a quantidade e as condições das plantas em áreas extensas no campo. Esses índices estabelecem uma relação entre a radiação solar e os tecidos fotossinteticamente ativos das plantas, visando destacar informações cruciais sobre a fitomassa verde presente na radiância refletida pelos dosséis vegetais. Essa abordagem é alcançada por meio da combinação de bandas espectrais na faixa do visível e infravermelho próximo. Dentre os principais IVs empregados no sensoriamento remoto, merece destaque o Enhanced Vegetation Index (EVI), que se destina a detectar a sensibilidade às variações na estrutura e arquitetura do dossel, incluindo índices de área foliar e fisionomia da planta. Adicionalmente, o EVI desempenha um papel crucial na minimização dos efeitos da influência do solo e da atmosfera na vegetação, conforme indicado por Caron e Minuzzi (2022).
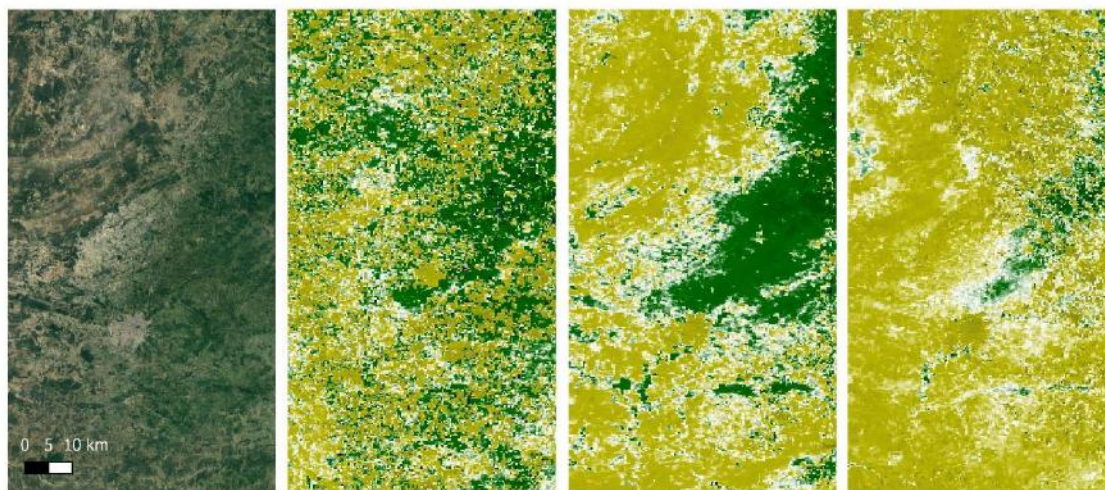
Fig. 11: Imagens EVI/MODIS do período de estiagem (janeiro) da área de interesse dos anos de 2004, 2012 e 2020, respectivamente.

Os dados processados para estudos ambientais têm sido gerados pelo sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), que está a bordo das plataformas orbitais do programa internacional EOS (*Earth Observing System*), sob a liderança da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Lançado em dezembro de 1999, o satélite TERRA realiza passagens sobre o Equador às 10h30 (horário local), em órbita descendente. Os dados provenientes do MODIS, caracterizados por moderada resolução espacial, alta repetitividade, boa qualidade radiométrica, alta precisão geométrica, juntamente com correção atmosférica e distribuição gratuita, possuem um significativo potencial

de aplicação no monitoramento da vegetação (Antunes e Esquerdo, 2014).

As figuras 11 e 12 apresentam o EVI para a área de estudos nos anos 2004, 2012 e 2020 as épocas de estiagem e chuvosa, respectivamente.
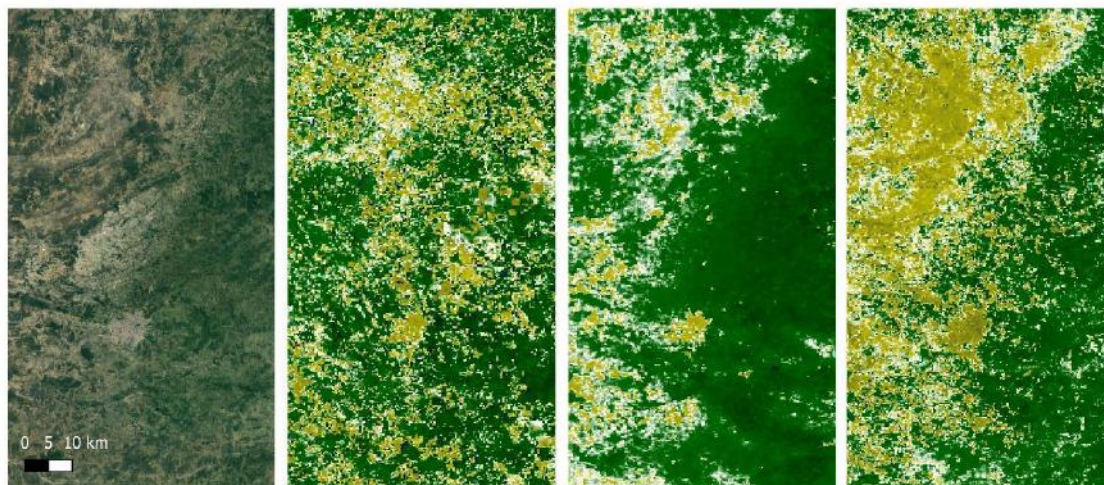
Fig. 12: Imagens EVI/MODIS do período das chuvas (junho) da área de interesse dos anos de 2004, 2012 e 2020, respectivamente.

IV. DISCUSSÃO

As análises climáticas indicam uma tendência de diminuição na precipitação e evapotranspiração ao longo do tempo. Isso destaca a vulnerabilidade da região do semiárido paraibano a condições climáticas adversas, com possíveis impactos nos recursos hídricos disponíveis. No semiárido, o clima se caracteriza pela variabilidade pluviométrica e a alta evapotranspiração, ocasionando o déficit hídrico. (EMBRAPA, 2024). Pelos os seus eventos extremos, a região do semiárido sobre com a escassez hídrica pelo período das secas e as chuvas torrenciais no período chuvoso. (Marengo, 2008).

O Quarto Relatório de Avaliação do International Panel on Climate Change (2007), aponta para a região do semiárido brasileiro como uma das regiões mais vulnerável pelas mudanças climáticas, tornando-as mais árida, aumento a ocorrência de eventos extremos de secas, e redução da demanda dos recursos hídricos. Essas alterações refletem negativamente sobre a vegetação, biodiversidade e sobre as atividades que precisam dos recursos naturais como matéria prima (Marengo, 2008).

Em 2022 o relatório do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) apontou que os pesquisadores que atuam na região do semiárido vêm constatando o aquecimento global a partir do tratamento e modelagem de séries de dados coletados desde a década de 1980. Para esta região os extremos serão mais impactantes: períodos de chuvas intensos e secas mais prolongadas com intensidades maiores: será uma realidade maior para os próximos anos do que a realidade que ocorre hoje.

O estudo de Campos et al. (2010) previa o aumento da temperatura média variando entre 3º C a 6º C no estado da Paraíba e apontava para os riscos decorrentes para a cultura do feijão-caupi. Souza et al. (2016) em seu estudo detectou variação da temperatura no período de 2006 a 2010 e mudanças no uso e cobertura do solo para a cidade de João Pessoa-PB.

Sobre a importância do Programa de Cisternas na região os resultados dos testes de tendência indicam que a região enfrenta desafios significativos relacionados à escassez de água. A implementação e expansão de políticas como o Programa de Cisterna são fundamentais para lidar com a redução na precipitação e evapotranspiração, contribuindo para a segurança hídrica da população.

Alguns estudos (Bastos et al., 2011; Benko-Iseppon et al., 2011; Brito et al., 2012; Burney et al., 2014; Cesano et al., 2011; Freitas, 2011; Queiroz, 2011; Oliveira et al., 2015, Ventura et al., 2011) sugerem que para regiões com alta suscetibilidade sejam desenvolvidas ações de adaptação para o semiárido brasileiro como as tecnologias de captação e armazenamento de água de chuva, técnicas para o uso racional da água para irrigação, sistemas de cultivos múltiplos, reflorestamento local, entre outros. O estudo de Santana e Rahal (2020) aponta o Programa de Cisternas como alternativa de desenvolvimento local em municípios do semiárido.

Em relação a adaptação às mudanças climáticas a tendência de aumento nas temperaturas destaca a necessidade urgente de estratégias de adaptação. A região do semiárido Paraibano deve buscar medidas para enfrentar os desafios impostos pelo aquecimento global, como a implementação de práticas sustentáveis e o desenvolvimento de tecnologias de conservação de água.

Com base no Enhanced Vegetation Index (EVI), é possível observar uma redução na densidade fotossinteticamente ativa durante os períodos de seca ao longo dos anos, resultando em uma fitomassa fotossintética menos densa. Isso é evidenciado pela Figura 13, que mostra uma redução nas áreas verdes e uma sobreposição crescente das áreas amareladas. Embora as áreas verdes predominem durante o período chuvoso, como ilustrado na Figura 14, observa-se um padrão semelhante ao longo dos anos, com uma diminuição na densidade das áreas verdes e um aumento correspondente nas áreas amareladas, indicando uma redução na cobertura vegetal da caatinga. Esses resultados reforçam as observações realizadas com os dados climáticos e a necessidade de se implementar políticas públicas que visem contornar os eventos extremos que são cada vez mais presentes na região semiárida.

V. CONCLUSÃO

Em suma, os resultados apresentados neste estudo destacam a gravidade das mudanças climáticas no semiárido Paraibano e a urgência de ações para enfrentar esses desafios. A análise detalhada dos resultados obtidos fornece insights valiosos para compreender as tendências climáticas na região e para desenvolver estratégias de adaptação e mitigação. É essencial que sejam implementadas políticas e medidas práticas para lidar com a escassez de água, o aumento das temperaturas e os eventos extremos, garantindo assim um futuro mais resiliente e sustentável para a região do semiárido Paraibano. A colaboração entre diversos atores, incluindo comunidades locais, governos e instituições de pesquisa, é crucial para alcançar esse objetivo e garantir a segurança hídrica e ambiental da região a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba.

REFERENCIAS

[1] Antunes, J. F. G. & Esquerdo, J. C. D. Classificação sub-pixel de séries temporais de dados MODIS para a quantificação de áreas inundadas do Pantanal. 2014. In: Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 325 -335.

[2] Bastos, E.A., Nascimento, S.P., Silva, E.M., Freire Filho, R.F., Gomide, R.L., 2011. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. Revista Ciência Agronômica 42, 100-107.

[3] Benko-Iseppon, A.M., Soares-Cavalcanti, N. M., Belarmino, L.C., Bezerra Neto, J.P., Amorim, L. L.B., Ferreira Neto, J.R.C., Pandolfi, V., Azevedo, H.M.A., Silva, R.L.O., Santos, M.G., Alves, M. V., Kido, E.A. 2011. Prospecção de Genes de Resistência à Seca e à Salinidade em Plantas Nativas e Cultivadas. Revista Brasileira de Geografia Física 6, 1112-1134.

[4] Brito, L. T. de L., Cavalcanti, N. de B., Silva, A. de S., Pereira, L.A., 2012. Produtividade de água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. Engenharia Agrícola 32, 102-109.

[5] Burney, J., Cesano, D., Russell, J., LA Rovere, E.L., Corral, T., Coelho, N. S., Santos, L., 2014. Climate change adaptation strategies for smallholder farmers in the Brazilian Sertão. Climatic Change 126, 45-59.

[6] Campos, J. H. B. da C., Silva, M. T., & Silva, V. de P. R. da. (2010). Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental, 14(4), 396–404. https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000400008.

[7] Caron, M. L. & Minuzzi, R. B. Estimativa de produtividade de soja com uso de perfis temporais de índices de vegetação do sensor MODIS em Sapezal, Mato Grosso. 2022. Revista Brasileira de Geografia Física, 15 (03), 1660-1675.

[8] Cesano, D., Rovere, E.L.L., Martin, O., Corral, T., Santos, L., Coelho, N.S., Neves, C.G., 2011. As experiências da coalizão adaptam Sertão na disseminação de tecnologias e estratégias de adaptação à mudança climática para o agricultor familiar do Semiárido Brasileiro. Revista Brasileira de Geografia Física 6, 1336-1350.

[9] Embrapa Informática Agropecuária. Banco de Produtos MODIS na base Estadual Brasileira. 2024. Disponível em <https://www.modis.cnptia.embrapa.br>. Acesso em 31 jan. 2024.

[10] Freitas, A.D.S., Silva, T.O., Menezes, R.S.C., Sampaio, E.V.S.B., Araújo, E.R., Fraga, V.S., 2011. Nodulação e fixação de nitrogênio por forrageiras da caatinga cultivadas em solos do semiárido paraibano. Revista Brasileira de Zootecnia 40, 1856-1861.

[11] Garcia, A. C. S.; Araújo Filho, J. C.; Silva, H. P. S. P.; Carvalho, R. M. C. M. O. Estudo espaço temporal de áreas susceptíveis à desertificação do semiárido brasileiro. (2019). Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, 8 (3), 352-370. https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e32019352-370.

[12] Giovanni. Giovanni: The Bridge Between Data and Science. 2023. v 4.38. Disponível em <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> acesso em: 07 agosto 2023.

[13] IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Genebra.

[14] Marengo, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2008 Brasília: MMA.

[15] Medeiros, T. K. F.; Lustosa, E. A.; Oliveira, J. L. S. Silva, E. 2019. Desertificação ambiental: Causas e efeitos no semiárido paraibano. Anais I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade e III Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido. Campina Grande: Realize Editora.

[16] Oliveira, E.J., Aidar, S.T., Morgante, C.V., Chaves, A.R.M., Cruz, J.L., Coelho Filho, M.A., 2015. Genetic parameters for drought tolerance in cassava. Pesquisa Agropecuária Brasileira 50, 233-241.

[17] Park, J., & Choi, M. Estimation of evapotranspiration from ground-based meteorological data and global land data assimilation system (GLDAS). 2014. Stochastic. Environmental Research and Risk Assessment, 29 (8), 1963–1992. doi:10.1007/s00477-014-1004-2

[18] Pohlert, T. Trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. 2023. R package version 1.1.5. Disponível em: https://CRAN.R-project.org/package=trend.

[19] Queiroz, M.A. Recursos Genéticos Vegetais da Caatinga para o Desenvolvimento do Semiárido Brasileiro. 2011. Revista Brasileira de Geografia Física 6, 1135-1150.

[20] Revelle, W. Psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research. 2023. Northwestern University, Evanston, Illinois. R package version 2.3.6, Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=psych>.

[21] Santana, M.O (Org.). (2007). Atlas das áreas suscetíveis à desertificação do Brasil. Brasília: MMA.

[22] Santana, V. L.; Rahal, L. S. dos. Tecnologias sociais como impulso para o acesso à água e o desenvolvimento sustentável no meio rural brasileiro: a experiência do Programa Cisternas. Investimentos transformadores para um estilo de desenvolvimento sustentável: Estudos de casos de grande impulso (Big Push) para a sustentabilidade no Brasil. Brasília: CEPAL, 2020. LC/TS. 2020/37. p. 155-169, 2020.

[23] Souza JF de; Silva, R.M., Silva, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa - PB. Ambient constr [Internet]. 2016Jan;16(1):21–37. Available from: https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100058.

[24] Souza, B. S.; Cantalice, W. L. B. C.; Braga, C. C.; Silva, M. T.; Silva, E. A. Response of the EVI Vegetation Index to precipitation anomalies in the State of Paraíba. 2022. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, 12 (1), 10-19.

[25] Tavares, Valter Cardoso et al. Desertificação, mudanças climáticas e secas no Semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. 2019. Geosul, Florianópolis, 34 (70) 385-405. http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385

[26] Ventura, A.C., Andrade, J.C.S., 2011. Policultura no semiárido brasileiro. Field Actions Science Reports [online] 3. Disponível: http://factsreports.revues.org/2558. Acesso: 30 jun. 2023.